

## Electromagnet coil command for fuel injection

**Publication number:** FR2772972

**Publication date:** 1999-06-25

**Inventor:** BALLESTEROS GUILLERMO; SAINT MARTIN PHILIPPE

**Applicant:** RENAULT (FR)

**Classification:**

- **international:** F02D41/20; H01F7/18; F02D41/20; H01F7/08; (IPC1-7): H01F7/18

- **european:** F02D41/20; H01F7/18B2

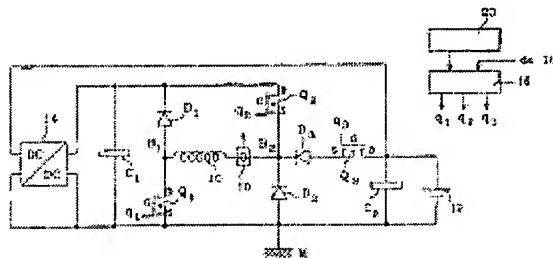
**Application number:** FR19970016197 19971219

**Priority number(s):** FR19970016197 19971219

[Report a data error here](#)

### Abstract of FR2772972

There is a circuit which estimates the coil current, which is then used by the command circuit to control the transistor switches.



---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 772 972

(21) N° d'enregistrement national :  
97 16197

(51) Int Cl<sup>6</sup> : H 01 F 7/18

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 19.12.97.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 25.06.99 Bulletin 99/25.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : RENAULT Societe anonyme — FR.

(72) Inventeur(s) : BALLESTEROS GUILLERMO et SAINT MARTIN PHILIPPE.

(73) Titulaire(s) :

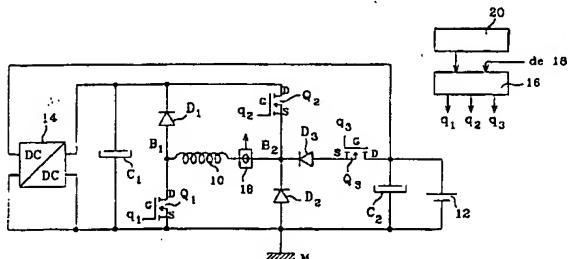
(74) Mandataire(s) : CABINET BALLOT SCHMIT.

### (54) DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN ELECTROAIMANT.

(57) L'invention concerne un dispositif de commande d'un électroaimant utilisé notamment dans les injecteurs de carburant pour moteur à combustion interne.

L'invention réside dans le fait que la bobine (10) de l'électroaimant est alimentée en courant par un condensateur électrochimique (C<sub>1</sub>) qui est en permanence chargé par un convertisseur continu/ continu 10. Un circuit de commutation (Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) permet de connecter la bobine (10) soit au condensateur électrochimique (C<sub>1</sub>) pour obtenir un courant à croissance rapide en vue de l'ouverture de l'électroaimant, soit à la batterie (12) pour maintenir l'électroaimant ouvert.

L'invention est applicable aux injecteurs de carburant pour moteur à combustion interne.



## DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN ELECTROAIMANT

L'invention concerne un dispositif de commande d'un électroaimant, notamment un électroaimant pour un actionneur appliquée à l'automobile tel qu'un actionneur de soupape ou un injecteur de carburant.

5 Un exemple d'application concerne les moteurs à combustion interne à injection de carburant et, plus particulièrement, dans de tels moteurs, un dispositif pour commander l'ouverture de l'injecteur de carburant afin d'alimenter en carburant le cylindre associé à des  
10 instants précis et répétitifs pour des durées relativement brèves.

Dans certains moteurs du type diesel, le carburant est distribué aux différents cylindres du moteur par l'intermédiaire d'injecteurs qui sont alimentés par un  
15 réservoir intermédiaire commun qui est soumis à une haute pression de plusieurs centaines de bar. Ce type de distribution est plus connu sous l'expression anglo-saxonne "Common Rail".

Par suite de cette haute pression d'alimentation,  
20 l'ouverture des injecteurs nécessite la mise en oeuvre de courants d'amplitude élevée, de l'ordre de quelques ampères à plusieurs dizaines d'ampères, pour actionner l'électroaimant. Dans le cas où l'alimentation du cylindre est réalisée en deux injections, les circuits  
25 de commande connus actuellement sont satisfaisants. De plus, pour permettre une montée rapide du courant dans la bobine de l'électroaimant, une source de tension de plusieurs dizaines de volts est nécessaire. Ces caractéristiques de courant et de tension impliquent la  
30 mise en place d'un dispositif électronique de puissance

particulière capable de fournir un courant de valeur élevée et de générer une haute tension.

Cependant, pour obtenir un fonctionnement optimal du moteur, l'alimentation d'un cylindre au cours d'un cycle requiert plusieurs injections successives très proches les unes des autres et de courte durée. Les circuits de commande actuels ne permettent pas un tel type d'alimentation par injections répétées et courtes car leur puissance est insuffisante.

Le but de la présente invention est donc de réaliser un dispositif de commande d'un électroaimant qui, dans son application à un injecteur de carburant, permet d'effectuer des injections de carburant répétées et courtes à chaque cycle du moteur.

L'invention concerne un dispositif de commande d'une bobine d'électroaimant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un convertisseur continu/continu ayant deux bornes d'entrée qui sont connectées à une source de tension continue et deux bornes de sortie,
- un condensateur électrochimique connecté entre les bornes de sortie du convertisseur continu/continu,
- un circuit de commutation à transistors et diodes pour connecter la bobine de l'électroaimant au condensateur électrochimique ou à la source de tension continue ou la déconnecter,
- un circuit de commande du circuit de commutation pour effectuer les commutations desdits transistors,
- et un circuit de mesure ou d'estimation du courant dans la bobine qui fournit au circuit de commande un signal de mesure ou d'estimation dudit courant.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un exemple particulier de réalisation,

ladite description étant faite en relation avec les dessins joints dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'un dispositif de commande d'un électroaimant selon l'invention,
- 5 - les figures 2a à 2e sont des diagrammes de divers signaux électriques à différents points du schéma de la figure 1 selon une première stratégie de fonctionnement,
- les figures 3 à 7 représentent le schéma de la figure 10 sur lequel ont été indiquées par des flèches les boucles de circulation du courant.
- les figures 8a à 8e sont des diagrammes de divers signaux électriques à différents points du schéma de la figure 1 selon une deuxième stratégie de fonctionnement, et
- 15 - les figures 9a à 9e sont des diagrammes de divers signaux électriques à différents points du schéma de la figure 1 selon une troisième stratégie de fonctionnement.
- 20 L'ouverture et la fermeture d'un injecteur d'un moteur à combustion interne sont obtenues en déplaçant une aiguille par l'intermédiaire d'un circuit hydraulique comportant une électrovanne. Cette électrovanne comprend un électroaimant constitué d'une bobine 10 qui 25 seule a été représentée sur la figure 1. Un circuit de commutation permet de faire circuler un courant dans la bobine 10 de manière à ouvrir l'électrovanne, à la maintenir ouverte ou à la fermer, ce qui conduit à l'ouverture de l'injecteur, son maintien à l'ouverture et sa fermeture.
- 30 Le dispositif de commande selon l'invention comprend :
  - une batterie 12 qui est constituée par la batterie du véhicule,

- un condensateur  $C_2$  qui est connecté en parallèle sur la batterie 12,
- un convertisseur continu/continu 14 qui présente deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie, les bornes d'entrées étant connectées aux bornes de la batterie 12,
- un condensateur électrochimique  $C_1$  de grande capacité qui est connecté entre les bornes de sortie du convertisseur continu/continu 14,

10 - un circuit de commutation qui comprend trois transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  et trois diodes  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$ ,

15 - un circuit de commande 16 des transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  du circuit de commutation qui fournit des signaux de commande  $q_1$ ,  $q_2$  et  $q_3$  des transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  respectivement, et

18 - un capteur 18 de mesure ou d'estimation du courant circulant dans la bobine 10 qui fournit cette mesure ou estimation au circuit de commande 16.

Les transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  sont par exemple du type MOSFET à grille isolée qui ont chacun trois électrodes appelées source S, drain D et grille G. Le transistor  $Q_1$  a sa source qui est connectée au point de masse M, son drain qui est connecté à une première borne  $B_1$  de la bobine 10 et sa grille qui est connectée à la borne de sortie du circuit de commande 16 fournissant le signal  $q_1$ .

Le transistor  $Q_2$  a son drain qui est connecté à la borne de sortie haute tension du convertisseur continu/continu 14, sa source qui est connectée à une deuxième borne  $B_2$  de la bobine 10 par l'intermédiaire du capteur 18, et sa grille qui est connectée à la borne de sortie du circuit de commande 16 fournissant le signal  $q_2$ .

Le transistor  $Q_3$  a son drain qui est connecté à la borne de sortie positive de la batterie 12, sa source qui est connectée à la borne  $B_2$  de la bobine 10 par l'intermédiaire de la diode  $D_3$  dont la cathode est 5 connectée au point  $B_2$  tandis que l'anode est connectée à la source du transistor  $Q_3$ .

La diode  $D_2$  a son anode qui est connectée au point de masse M et sa cathode qui est connectée au point  $B_2$  de la bobine 10 par l'intermédiaire du capteur 18.

10 La diode  $D_1$  a sa cathode qui est connectée à la borne de sortie positive du convertisseur continu/continu 14 et son anode qui est connectée au point  $B_1$  de la bobine 10.

15 Le circuit de commande 16 élabore les signaux de commande  $q_1$ ,  $q_2$  et  $q_3$  à partir de la mesure effectuée par le capteur 18 et des durées d'injection qui sont calculées par un calculateur d'injection 20. Le circuit de commande 16, le calculateur d'injection 20 et l'électronique de puissance peuvent être disposées dans 20 un même boîtier. Les signaux  $q_1$ ,  $q_2$  et  $q_3$  sont représentés respectivement par les diagrammes des figures 2a, 2b et 2c dans le cas où l'on souhaite obtenir un courant dans la bobine 10 qui a l'allure du diagramme de la figure 2d.

25 Le fonctionnement du dispositif de commande du schéma de la figure 1 est alors le suivant.

En l'absence de tout signal  $q_1$ ,  $q_2$  ou  $q_3$ , les transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  sont bloqués ou fermés et le condensateur  $C_1$  est chargé à sa tension maximale de 30 sortie du convertisseur continu/continu 14 et le courant circule selon le chemin en trait gras de la figure 3, c'est-à-dire qu'un courant de fuite circule à travers les condensateurs  $C_1$  et  $C_2$ .

Pour provoquer l'ouverture rapide de l'injecteur, un fort courant doit circuler dans la bobine 10 et ceci est obtenu en débloquant ou ouvrant les transistors  $Q_1$  et  $Q_2$  par les signaux respectifs  $q_1$  et  $q_2$  (figures 2a et 2b) de sorte qu'un courant de décharge du condensateur haute tension  $C_1$  circule dans la bobine 10 selon les flèches 30 de la figure 4. Pendant ce temps, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur DC/DC selon le chemin en trait gras de la figure 3. La croissance du courant dans la bobine est très forte et atteint la valeur  $I_b$  à la fin du signal  $q_2$  qui bloque le transistor  $Q_2$ .

Pour continuer la croissance du courant jusqu'à la valeur  $(I_a + \epsilon)$ , le transistor  $Q_3$  est débloqué par le signal  $q_3$  (figure 2c) de sorte que le courant dans la bobine 10 provient de la batterie 12 à basse tension selon les flèches 32 de la figure 5. Pendant ce temps, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur DC/DC selon le chemin en trait gras de la figure 3.

Dès que le courant de bobine a atteint la valeur  $(I_a + \epsilon)$ , détectée par le capteur 18, le transistor  $Q_3$  est bloqué par le signal  $q_3$  de sorte que le chemin de courant dans la bobine est celui indiqué par les flèches 34 sur la figure 6 ce qui correspond à une séquence dite de roue libre. Il en résulte une décroissance du courant qui s'arrête dès que le courant atteint la valeur  $(I_a - \epsilon)$ . Pendant ce temps, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur DC/DC selon le chemin en trait gras de la figure 3.

A cette valeur  $(I_a - \epsilon)$ , le signal  $q_3$  débloque le transistor  $Q_3$ , ce qui alimente à nouveau en courant la bobine 10 selon le chemin indiqué par les flèches 32 de

la figure 5 de sorte que le courant augmente à nouveau jusqu'à la valeur  $(I_a + \epsilon)$ .

La phase où le courant est maximum, c'est-à-dire compris entre  $(I_a - \epsilon)$  et  $(I_a + \epsilon)$  constitue la phase 5 dite d'appel. Elle a une durée qui est prédéterminée par la commande et qui dépend des caractéristiques de l'électroaimant. Ces deux dernières séquences se reproduisent autant de fois que nécessaire en fonction de la durée de la phase d'appel.

10 A la fin de la phase d'appel, le courant circulant dans la bobine de l'électroaimant a une valeur comprise entre  $(I_a - \epsilon)$  et  $(I_a + \epsilon)$ , le signal  $q_3$  bloque à nouveau le transistor  $Q_3$  tandis que le signal  $q_1$  bloque le transistor  $Q_1$  de sorte que le courant circule selon 15 les flèches 36 de la figure 7. Il en résulte une baisse rapide du courant. Pendant ce temps, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur DC/DC selon le chemin en trait gras de la figure 3.

Cette baisse s'arrête lorsque la valeur  $(I_m - \sigma)$  est 20 détectée, ce qui a pour conséquence de débloquer  $Q_1$  et  $Q_3$  par les signaux  $q_1$  et  $q_3$  de sorte que le courant circule selon les flèches 32 de la figure 5 qui conduit à sa croissance. Pendant ce temps, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur DC/DC 25 selon le chemin en trait gras de la figure 3.

Dès que le courant atteint la valeur  $(I_m + \sigma)$ , le transistor  $Q_3$  est bloqué de sorte que le courant circule selon les flèches 34 de la figure 6 (séquence de roue libre), ce qui conduit à une baisse de courant 30 jusqu'à la valeur  $(I_m - \sigma)$  qui déclenche à nouveau le déblocage du transistor  $Q_3$ . Pendant ce temps, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur DC/DC selon le chemin en trait gras de la figure 3.

Ces deux dernières séquences s'alternent jusqu'à la fin de la phase de maintien déterminée par le calculateur 20.

Tant que le courant reste à la valeur ( $I_m \pm \sigma$ ), 5 l'injecteur reste ouvert. Pour le fermer, les transistors  $Q_1$  et  $Q_3$  doivent être bloqués de sorte que le courant circule selon les flèches 36 de la figure 7, ce qui conduit à une décroissance rapide du courant dans la bobine et à la fermeture de l'injecteur. 10 Pendant ce temps, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur DC/DC selon le chemin en trait gras de la figure 3.

Avec ce type de fonctionnement, le condensateur  $C_1$  n'est sollicité que pendant la première phase de croissance rapide du courant dans la bobine. Compte-tenu de sa forte valeur, la décharge du condensateur  $C_1$  est partielle de sorte qu'il est possible de considérer la haute tension comme constante pendant toutes les séquences de fonctionnement. Le condensateur  $C_1$  reste 20 en charge en permanence grâce au convertisseur continu/continu 14 et à la récupération d'énergie lors de la descente rapide du courant dans la bobine. Le passage de la phase d'appel à la phase de maintien et le passage de la phase de maintien à l'extinction 25 complète du courant se fait par récupération de l'énergie stockée dans la bobine.

La description du fonctionnement qui vient d'être faite fait apparaître quatre séquences différentes ou modes de fonctionnement différents :

30 - une phase permanente de fonctionnement pendant laquelle le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur statique continu/continu, ce qui est représenté par le chemin en trait gras de la

figure 3. Cette phase est présente en permanence pendant les séquences suivantes :

- une première séquence ( $\alpha$ ) pendant laquelle les transistors  $Q_1$  et  $Q_2$  sont conducteurs de sorte que le condensateur  $C_1$  se décharge partiellement dans la bobine 10 avec un courant à croissance rapide (figure 4).
- une deuxième séquence ( $\beta$ ) pendant laquelle les transistors  $Q_1$  et  $Q_3$  ainsi que la diode  $D_3$  sont conducteurs de sorte que la batterie 12 alimente seule la bobine 10 avec un courant à croissance moins rapide que celui de la séquence ( $\alpha$ ) (figure 5).
- une troisième séquence ( $\Gamma$ ) (séquence de roue libre) pendant laquelle le transistor  $Q_1$  et la diode  $D_2$  sont conducteurs de sorte que le courant dans la bobine 10 décroît (figure 6), et
- une quatrième séquence ( $\delta$ ) (séquence de récupération d'énergie) pendant laquelle seules les diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont conductrices de sorte que le courant dans la bobine 10 décroît fortement et recharge le condensateur  $C_1$ .

Le fonctionnement qui vient d'être décrit correspond à une première stratégie de commande des électroaimants des injecteurs mais d'autres stratégies sont possibles et deux d'entre elles vont maintenant être décrites, l'une prévoyant une récupération systématique de l'énergie stockée dans la bobine de l'électroaimant et l'autre sans récupération d'énergie entre la phase d'appel et la phase de maintien.

Dans la stratégie de récupération systématique de l'énergie, le fonctionnement est le suivant :

En l'absence de tout signal  $q_1$ ,  $q_2$  ou  $q_3$  (figures 8a, 8b et 8c), les transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  sont bloqués et le condensateur  $C_1$  est chargé à sa tension maximale de

sortie du convertisseur continu/continu 14 et le courant circule selon le chemin en trait gras de la figure 3. La charge du condensateur de  $C_1$  se fait en permanence et est représentée par le courant qui circule selon le chemin en trait gras sur la figure 3.

Pour provoquer l'ouverture rapide de l'injecteur, un fort courant doit circuler dans la bobine 10 et ceci est obtenu en débloquant les transistors  $Q_1$  et  $Q_2$  par les signaux respectifs  $q_1$  et  $q_2$  (figures 8a et 8b) de sorte qu'un courant de décharge du condensateur haute tension  $C_1$  circule dans la bobine 10 selon les flèches 30 de la figure 4. La croissance du courant dans la bobine est très forte et atteint la valeur  $I_b$  à la fin du signal  $q_2$  qui bloque le transistor  $Q_2$ .

Pour continuer la croissance du courant jusqu'à la valeur  $(I_a + \epsilon)$ , le transistor  $Q_3$  est débloqué par le signal  $q_3$  (figure 2c) de sorte que le courant dans la bobine 10 provient de la batterie 12 à basse tension selon les flèches 32 de la figure 5.

Dès que le courant de bobine a atteint la valeur  $(I_a + \epsilon)$ , détectée par le capteur 18, les transistors  $Q_1$  et  $Q_3$  sont bloqués par les signaux  $q_1$  et  $q_3$  de sorte que le chemin de courant dans la bobine est celui indiqué par les flèches 36 sur la figure 7. Il en résulte une décroissance rapide du courant qui s'arrête dès que le courant atteint la valeur  $(I_a - \epsilon)$ .

A cette valeur  $(I_a - \epsilon)$ , les signaux  $q_3$  et  $q_1$  débloquent les transistors  $Q_3$  et  $Q_1$ , ce qui alimente à nouveau en courant la bobine 10 selon les flèches 32 de la figure 5 de sorte que le courant augmente à nouveau jusqu'à la valeur  $(I_a + \epsilon)$ . Les deux dernières séquences s'alternent tout au long de la phase d'appel. A la fin de la phase d'appel, les signaux  $q_3$  et  $q_1$  bloquent à nouveau les transistors  $Q_3$  et  $Q_1$  de sorte

que le courant circule selon les flèches 36 de la figure 7. Il en résulte une baisse rapide du courant. Cette baisse s'arrête lorsque la valeur ( $I_m - \sigma$ ) est détectée, ce qui a pour conséquence de débloquer  $Q_1$  et 5  $Q_3$  par les signaux  $q_1$  et  $q_3$  de sorte que le courant circule selon les flèches 32 de la figure 5 qui conduit à sa croissance.

Dès que le courant atteint la valeur ( $I_m + \sigma$ ), les 10 transistors  $Q_3$  et  $Q_1$  sont bloqués de sorte que le courant circule selon les flèches 36 de la figure 7, ce qui conduit à une baisse de courant jusqu'à la valeur ( $I_m - \sigma$ ) qui déclenche à nouveau le déblocage du transistor  $Q_3$ . Les deux dernières séquences se répètent au cours de la phase de maintien.

15 Ces deux dernières séquences s'alternent jusqu'à la fin de la phase de maintien déterminée par le calculateur 20.

Tant que le courant reste à la valeur ( $I_m \pm \sigma$ ), l'injecteur reste ouvert. Pour le fermer, les 20 transistors  $Q_1$  et  $Q_3$  doivent être bloqués de sorte que le courant circule selon les flèches 36 de la figure 7, ce qui conduit à une décroissance rapide du courant dans la bobine et à la fermeture de l'injecteur.

Avec ce type de fonctionnement, le condensateur  $C_1$  25 n'est sollicité ou déchargé que pendant la première phase de croissance rapide du courant dans la bobine. Compte-tenu de la forte valeur de la capacité du condensateur  $C_1$ , cette décharge n'est que partielle de sorte qu'il est possible de considérer la haute tension 30 comme constante pendant toutes les séquences de fonctionnement. Le condensateur  $C_1$  est en charge en permanence grâce au convertisseur continu/continu 14 et à la récupération d'énergie qui se fait de façon

systématique lors de la descente rapide du courant dans la bobine.

La description du fonctionnement qui vient d'être faite fait apparaître quatre séquences différentes ou modes de fonctionnement différents :

5 - une première séquence ( $\alpha$ ) pendant laquelle les transistors  $Q_1$  et  $Q_2$  sont conducteurs de sorte que le condensateur  $C_1$  se décharge partiellement dans la bobine 10 avec un courant à croissance rapide (figure

10 4) ;

- une deuxième séquence ( $\beta$ ) pendant laquelle les transistors  $Q_1$  et  $Q_3$ , ainsi que la diode  $D_3$  sont conducteurs de sorte que la batterie 12 alimente seule la bobine 10 avec un courant à croissance moins

15 rapide que celui de la séquence ( $\alpha$ ) (figure 5) ;

- une troisième séquence ( $\delta$ ) pendant laquelle seules les diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont conductrices de sorte que le courant dans la bobine 10 décroît fortement et recharge le condensateur  $C_1$ .

20 Dans ce mode de fonctionnement, il n'y a pas de séquence de roue libre pendant laquelle un courant circule selon les flèches 34 de la figure 6 du fait de la conduction du transistor  $Q_1$ . La séquence de roue libre ne charge donc pas le condensateur  $C_1$ .

25 La recharge du condensateur  $C_1$  se fait en permanence par le convertisseur continu/continu 14 et grâce à la récupération systématique de l'énergie stockée dans la bobine de l'électroaimant pour réguler le courant dans cette dernière.

30 Dans la stratégie sans récupération d'énergie entre la phase d'appel et la phase de maintien, le fonctionnement est le suivant :

En l'absence de tout signal  $q_1$ ,  $q_2$  ou  $q_3$ , les transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  sont bloqués et le

condensateur  $C_1$  est chargé à sa tension maximale de sortie du convertisseur continu/continu 14 et le courant circule selon le chemin en trait gras de la figure 3. La charge du condensateur  $C_1$  se fait en permanence et est représentée par le courant qui circule selon le chemin en trait gras sur la figure 3. Pour provoquer l'ouverture rapide de l'injecteur, un fort courant doit circuler dans la bobine 10 et ceci est obtenu en débloquant les transistors  $Q_1$  et  $Q_2$  par les signaux respectifs  $q_1$  et  $q_2$  (figures 9a et 9b) de sorte qu'un courant de décharge du condensateur haute tension  $C_1$  circule dans la bobine 10 selon les flèches 30 de la figure 4. La croissance du courant dans la bobine est très forte et atteint la valeur  $I_b$  à la fin du signal  $q_2$  qui bloque le transistor  $Q_2$ .

Pour continuer la croissance du courant jusqu'à la valeur  $(I_a + \epsilon)$ , le transistor  $Q_3$  est débloqué par le signal  $q_3$  (figure 9c) de sorte que le courant dans la bobine 10 provient de la batterie 12 à basse tension selon les flèches 32 de la figure 5.

Dès que le courant de bobine a atteint la valeur  $(I_a + \epsilon)$ , détectée par le capteur 18, le transistor  $Q_3$  est bloqué par le signal  $q_3$  de sorte que le chemin de courant dans la bobine est celui indiqué par les flèches 34 de la figure 6. Il en résulte une décroissance du courant qui s'arrête dès que le courant atteint la valeur  $(I_a - \epsilon)$ .

A cette valeur  $(I_a - \epsilon)$ , le signal  $q_3$  débloque le transistor  $Q_3$ , ce qui alimente à nouveau en courant la bobine 10 selon les flèches 32 de la figure 5 de sorte que le courant augmente à nouveau jusqu'à la valeur  $(I_a + \epsilon)$ . Les deux dernières séquences se répètent tout au long de la phase d'appel.

A la fin de la phase d'appel dont la durée est déterminée par le circuit de commande 16, le signal  $q_3$  bloque à nouveau le transistor  $Q_3$ , tandis que le signal  $q_1$  laisse débloqué le transistor  $Q_1$  de sorte que le courant circule selon les flèches 34 de la figure 6. Il en résulte une baisse lente du courant.

Cette baisse s'arrête lorsque la valeur  $(I_m - \sigma)$  est détectée, ce qui a pour conséquence de débloquer  $Q_3$  par le signal  $q_3$  de sorte que le courant circule selon les flèches 32 de la figure 5 qui conduit à sa croissance. Dès que le courant atteint la valeur  $(I_m + \sigma)$ , le transistor  $Q_3$  est bloqué de sorte que le courant circule selon les flèches 34 de la figure 6, ce qui conduit à une baisse de courant jusqu'à la valeur  $(I_m - \sigma)$  qui déclenche à nouveau le déblocage du transistor  $Q_3$ . Les deux dernières séquences se répètent au cours de la phase de maintien.

Tant que le courant reste à la valeur  $(I_m \pm \sigma)$ , l'injecteur reste ouvert. Pour le fermer, les transistors  $Q_1$  et  $Q_3$  doivent être bloqués de sorte que le courant circule selon les flèches 36 de la figure 7, ce qui conduit à une décroissance rapide du courant dans la bobine et à la fermeture de l'injecteur.

Avec ce type de fonctionnement, le condensateur  $C_1$  n'est sollicité que pendant la première phase de croissance rapide du courant dans la bobine. Compte-tenu de sa forte capacité, la décharge du condensateur est partielle, de sorte qu'il est possible de considérer la haute tension comme constante pendant toutes les séquences de fonctionnement.

En permanence, le condensateur  $C_1$  en charge grâce au convertisseur continu/continu 14 et à la récupération d'énergie lors de la descente rapide du courant dans la bobine.

La description du fonctionnement qui vient d'être faite fait apparaître quatre séquences différentes ou modes de fonctionnement différents :

- une première séquence ( $\alpha$ ) pendant laquelle les 5 transistors  $Q_1$  et  $Q_2$  sont conducteurs de sorte que le condensateur  $C_1$  se décharge partiellement dans la bobine 10 avec un courant à croissance rapide (figure 4).
- une deuxième séquence ( $\beta$ ) pendant laquelle les 10 transistors  $Q_1$  et  $Q_3$  ainsi que la diode  $D_3$  sont conducteurs de sorte que la batterie 12 alimente seule la bobine 10 avec un courant à croissance moins rapide que celui de la séquence ( $\alpha$ ) (figure 5).
- une troisième séquence ( $\Gamma$ ) (séquence de roue libre) 15 pendant laquelle le transistor  $Q_1$  et la diode  $D_2$  sont conducteurs de sorte que le courant dans la bobine 10 décroît (figure 6), et
- une quatrième séquence ( $\delta$ ) pendant laquelle seules les diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont conductrices de sorte que le 20 courant dans la bobine 10 décroît fortement et recharge le condensateur  $C_1$ .

Comme pour les précédentes stratégies, tout au long de ces quatres séquences, le condensateur  $C_1$  est chargé en permanence par le convertisseur continu/continu 14.

25 Les trois stratégies qui ont été décrites en relation avec les diagrammes des figures 2, 8 et 9 correspondent :

- la première (figure 2) à une récupération d'énergie pendant les séquences ( $\delta$ ), auquel cas les transistors 30  $Q_1$  et  $Q_3$  doivent être bloqués (ou fermés), mais il n'y a pas de récupération d'énergie pendant les séquences ( $\Gamma$ ) ;
- la deuxième (figure 8) à une récupération complète d'énergie dans les séquences ( $\Gamma$ ) et ( $\delta$ ) car le

transistor  $Q_1$  est bloqué en même temps que le transistor  $Q_3$ , ce qui permet la charge du condensateur  $C_1$ .

- la troisième (figure 9) à une absence complète de récupération d'énergie sauf pendant la séquence ( $\delta$ ) de fin de cycle car le transistor  $Q_1$  est bloqué ;

La description ci-dessus permet de définir un procédé de commande des transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  comprenant les étapes suivantes consistant à :

- 10 (a) rendre passant simultanément les premier et deuxième transistors  $Q_1$ ,  $Q_2$  pour alimenter en courant  $I$  la bobine 10 par le courant de décharge du condensateur électrochimique  $C_1$ ,
- 15 (b) bloquer le deuxième transistor  $Q_2$  et rendre passant le troisième transistor  $Q_3$  dès que le courant dans la bobine atteint un premier seuil  $I_b$ , pour alimenter en courant la bobine 10 par la source de tension continue 12,
- 20 (c) bloquer le troisième transistor  $Q_3$  dès que le courant dans la bobine 10 atteint un deuxième seuil  $(I_a + \epsilon)$  de manière à ne plus alimenter en courant la bobine 10,
- 25 (d) rendre passant le troisième transistor  $Q_3$  dès que le courant dans la bobine 10 atteint un troisième seuil  $(I_a - \epsilon)$  de manière à alimenter en courant la bobine 10 par la source de tension continue 12,
- (e) répéter éventuellement les étapes (c) et (d) pour maintenir le courant dans la bobine 10 entre les deuxième  $(I_a + \epsilon)$  et troisième seuils  $(I_a - \epsilon)$ , et
- 30 (f) bloquer simultanément les premier  $Q_1$  et troisième  $Q_3$  transistors de manière à charger le condensateur électrochimique  $C_1$  par le courant de décharge de la bobine 10.

Ces étapes (a) à (f) permettent d'obtenir le courant ( $I_a \pm \epsilon$ ) dans la bobine 10 et de revenir à un courant nul correspondant à l'état de repos.

5 Ces étapes (a) à (f) doivent être complétées par les étapes complémentaires suivantes dans le cas de l'obtention d'un courant de maintien  $I_m$  :

10 (g) rendre passant simultanément les premier  $Q_1$  et troisième  $Q_3$  transistors dès que le courant dans la bobine 10 atteint un quatrième seuil  $I_m$  inférieur au premier seuil  $I_b$ , de manière à alimenter en courant la bobine 10 par la source de tension continue 12,

15 (h) bloquer le troisième transistor  $Q_3$  dès que le courant dans la bobine 10 atteint un cinquième seuil ( $I_m + \sigma$ ) de manière à ne plus alimenter en courant la bobine 10,

20 (i) rendre passant le troisième transistor  $Q_3$  dès que le courant dans la bobine 10 atteint un sixième seuil ( $I_m - \sigma$ ) de manière à alimenter en courant la bobine 10 par la source de tension continue 12,

(j) répéter éventuellement les étapes (h) et (i) pour maintenir le courant dans la bobine 10 entre les cinquième ( $I_b + \sigma$ ) et sixième ( $I_b + \epsilon$ ) seuils, et

25 (k) répéter l'étape (f).

Dans le cas d'une récupération d'énergie complète, les étapes (c), (h), (d) et (i) doivent être complétées par :

- pour (c) et (h)
- bloquer simultanément le transistor  $Q_1$  de manière à charger le condensateur chimique  $C_1$  par le courant de décharge de la bobine 10,
- pour (d) et (e)
- rendre passant le premier transistor  $Q_1$  de manière à permettre l'alimentation en courant de la bobine 10 par la source de tension continue 12.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de commande d'une bobine (10) d'électroaimant caractérisé en ce qu'il comprend :
  - un convertisseur continu/continu (14) ayant deux bornes d'entrée qui sont connectées à une source de tension continue (12) et deux bornes de sortie,
  - un condensateur électrochimique ( $C_1$ ) connecté entre les bornes de sortie du convertisseur continu/continu (14),
  - un circuit de commutation à transistors ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ) et diodes ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ) pour connecter la bobine (10) de l'électroaimant au condensateur ( $C_1$ ) ou à la source de tension continue (12) ou la déconnecter,
  - un circuit de commande (16) du circuit de commutation pour effectuer les commutations desdits transistors à l'aide de signaux ( $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ),
  - et un circuit de mesure ou d'estimation (18) du courant dans la bobine (10) qui fournit au circuit de commande (16) un signal de mesure ou d'estimation dudit courant.
- 20 2. Dispositif de commande selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit de commutation comprend :
  - un premier transistor à effet de champ ( $Q_1$ ) et une première diode ( $D_1$ ) montés en parallèle sur le condensateur électrochimique ( $C_1$ ), le point commun du drain dudit premier transistor et de l'anode de ladite première diode étant connecté à une première borne ( $B_1$ ) de la bobine (10),
  - un deuxième transistor à effet de champ ( $Q_2$ ) et une deuxième diode ( $D_2$ ) montés en parallèle sur le

4. Dans le dispositif de commande selon la revendication 2 ou 3, un procédé de commande des transistors ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ) du circuit de commutation à l'aide des signaux de commande ( $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ) fournis par le circuit de commande (16), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes consistant à :

(a) rendre passant simultanément les premier et deuxième transistors ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) pour alimenter en courant ( $I$ ) la bobine (10) par le courant de décharge du condensateur électrochimique ( $C_1$ ),

(b) bloquer le deuxième transistor ( $Q_2$ ) et ouvrir le troisième transistor ( $Q_3$ ) dès que le courant dans la bobine atteint un premier seuil ( $I_b$ ), pour alimenter en courant la bobine (10) par la source de tension continue (12),

(c) bloquer le troisième transistor ( $Q_3$ ) dès que le courant dans la bobine (10) atteint un deuxième seuil ( $I_a + \epsilon$ ) de manière à ne plus alimenter en courant la bobine (10),

(d) rendre passant le troisième transistor ( $Q_3$ ) dès que le courant dans la bobine (10) atteint un troisième seuil ( $I_a - \epsilon$ ) de manière à alimenter en courant la bobine (10) par la source de tension continue (12),

(e) répéter éventuellement les étapes (c) et (d) pour maintenir le courant dans la bobine (10) entre les deuxième ( $I_a + \epsilon$ ) et troisième seuils ( $I_a - \epsilon$ ), et

(f) bloquer simultanément les premier ( $Q_1$ ) et troisième ( $Q_3$ ) transistors de manière à charger le condensateur électrochimique ( $C_1$ ) par le courant de décharge de la bobine (10).

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes complémentaires suivantes consistant à :

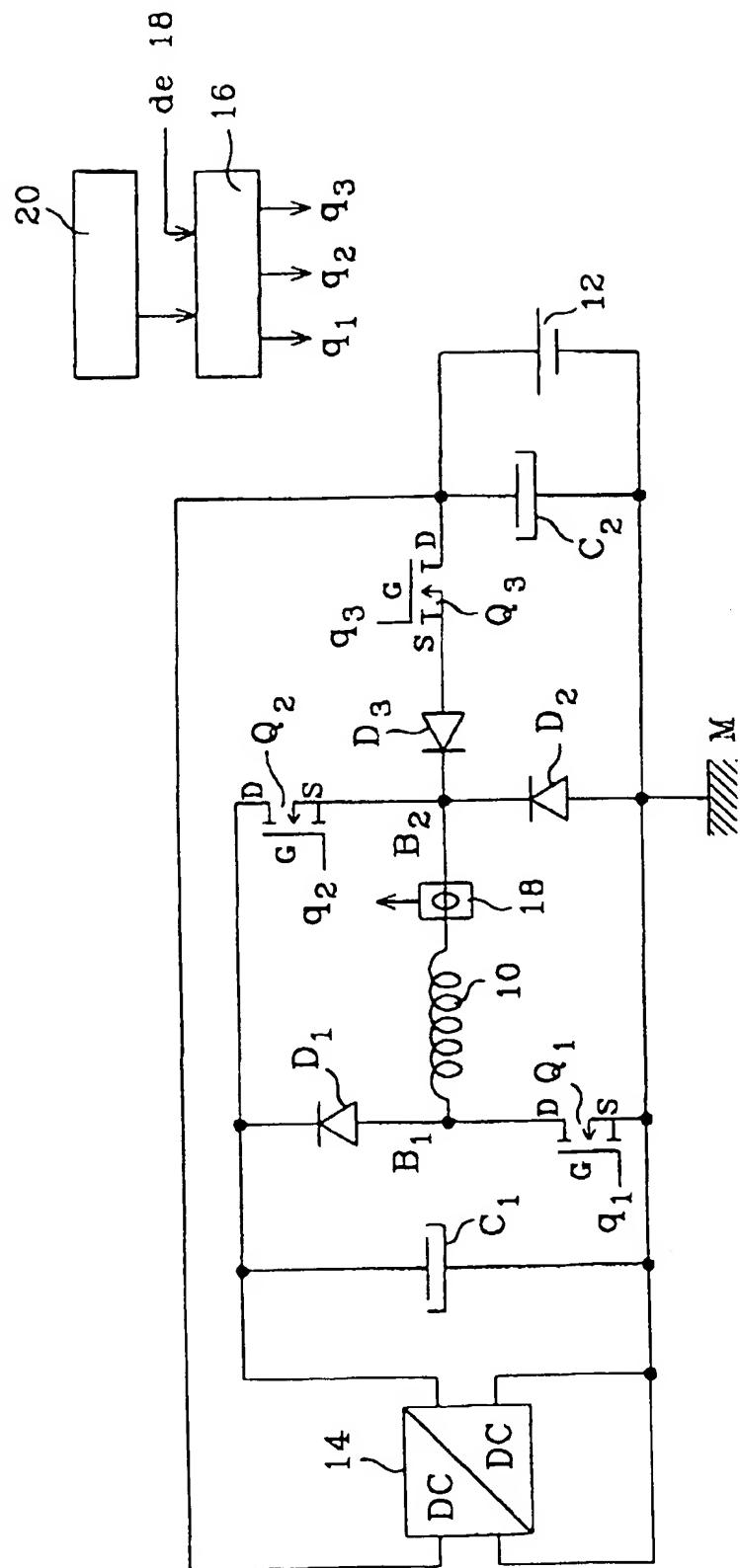
- (g) rendre passant simultanément les premier ( $Q_1$ ) et 5 troisième ( $Q_3$ ) transistors dès que le courant dans la bobine (10) atteint un quatrième seuil ( $I_m$ ) inférieur au premier seuil ( $I_b$ ), de manière à alimenter en courant la bobine (10) par la source de tension continue (12),
- 10 (h) bloquer le troisième transistor ( $Q_3$ ) dès que le courant dans la bobine (10) atteint un cinquième seuil ( $I_m + \sigma$ ) de manière à ne plus alimenter en courant la bobine (10),
- (i) rendre passant le troisième transistor ( $Q_3$ ) dès 15 que le courant dans la bobine (10) atteint un sixième seuil ( $I_m - \sigma$ ) de manière à alimenter en courant la bobine (10) par la source de tension continue (12),
- (j) répéter éventuellement les étapes (h) et (i) pour 20 maintenir le courant dans la bobine (10) entre les cinquième ( $I_b + \sigma$ ) et sixième ( $I_b + \epsilon$ ) seuils, et
- (k) répéter l'étape (f).

6. Procédé selon la revendication 4 ou la revendication 5, caractérisé en ce que les étapes (c) et (h) 25 comprennent en outre, l'étape complémentaire consistant à :

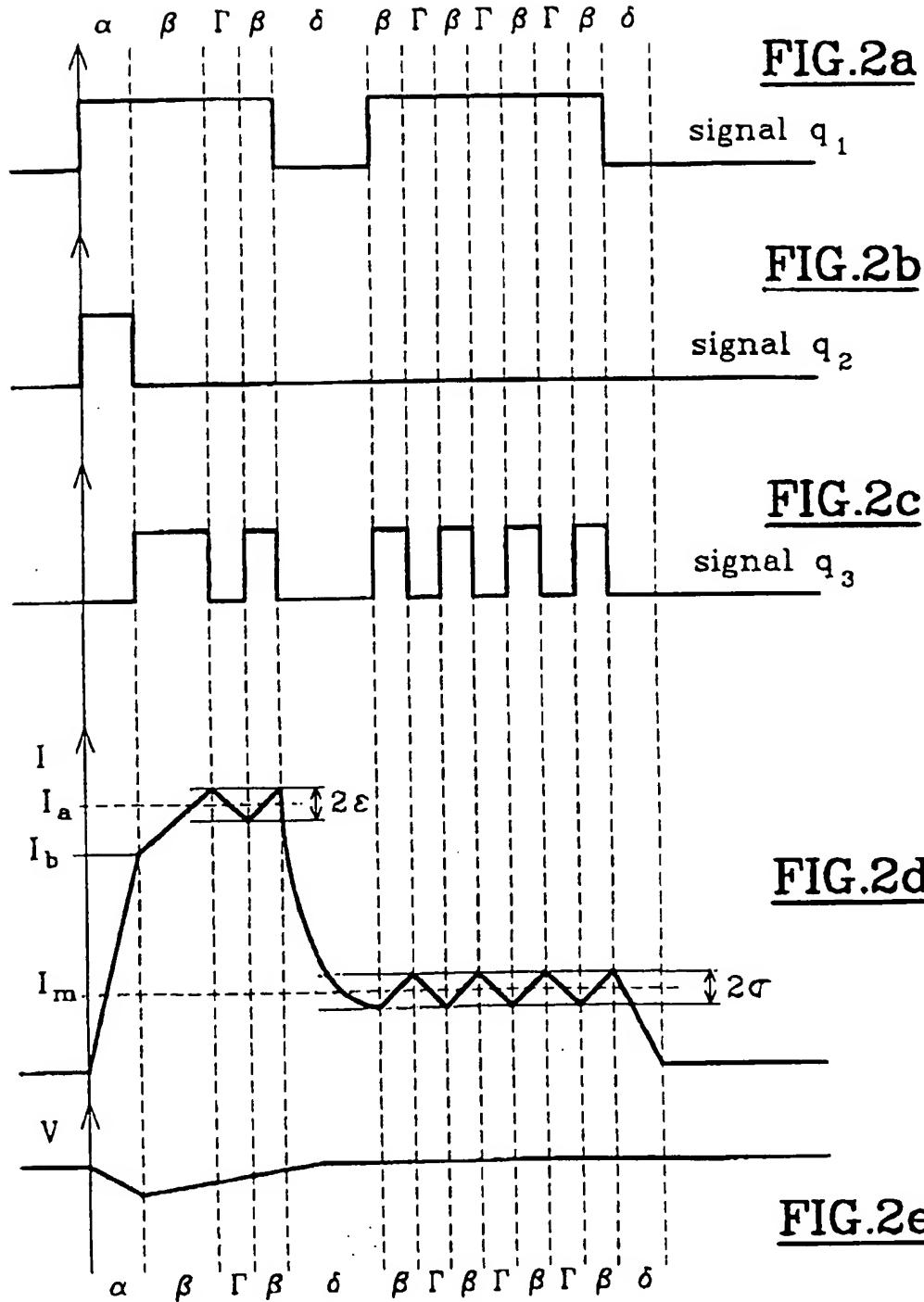
- bloquer simultanément le premier transistor ( $Q_1$ ) de manière à charger le condensateur chimique ( $C_1$ ) par le courant de décharge de la bobine (10),
- 30 et en ce que les étapes (d) et (i) comprennent alors dans ce cas en outre l'étape complémentaire consistant à :

- rendre passant le premier transistor ( $Q_1$ ) de manière à permettre l'alimentation en courant de la bobine (10) par la source de tension continue (12).

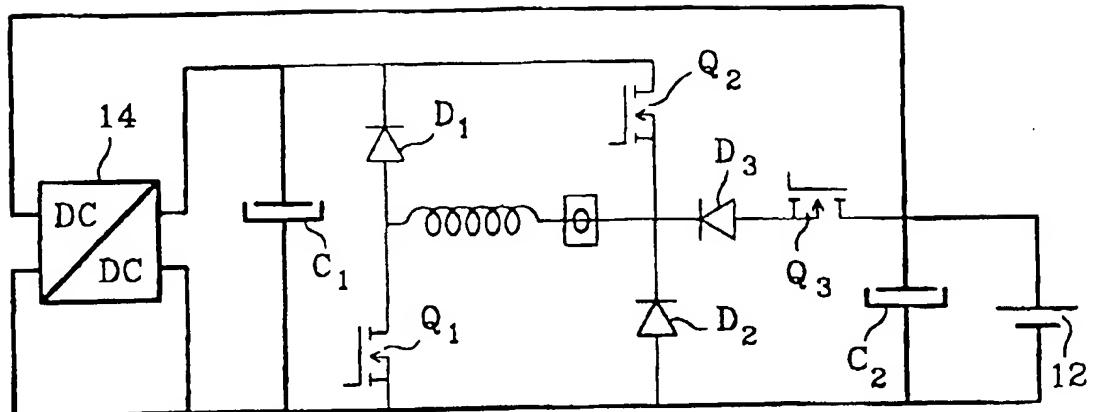
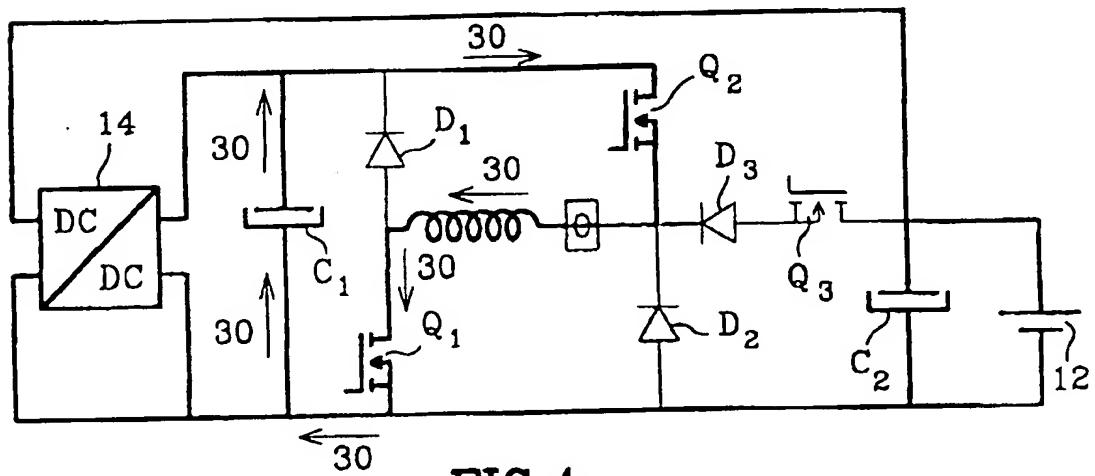
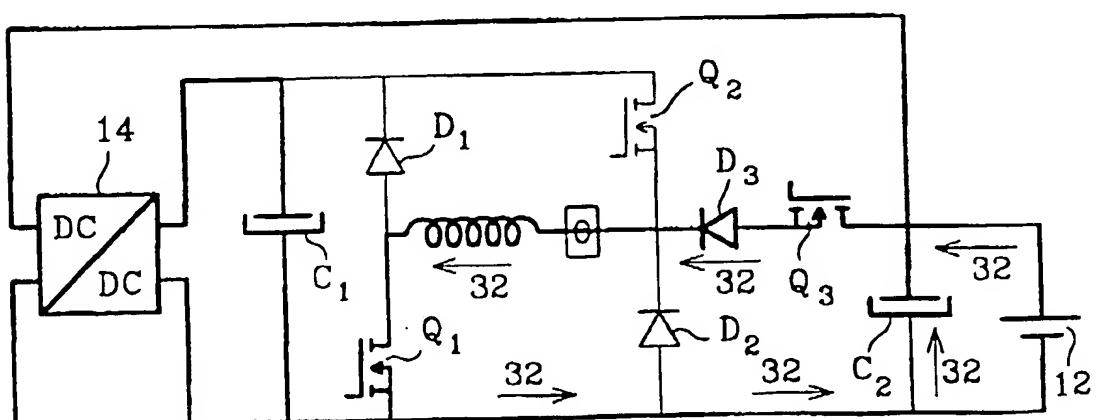
1/6



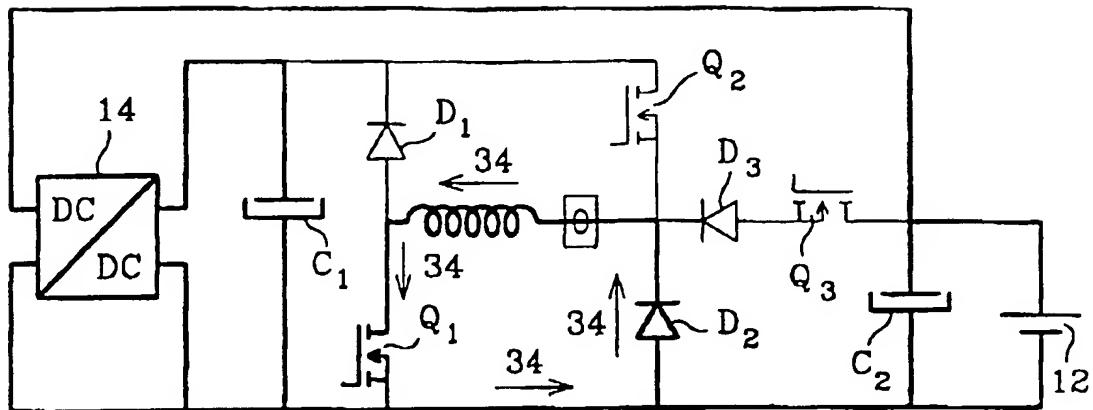
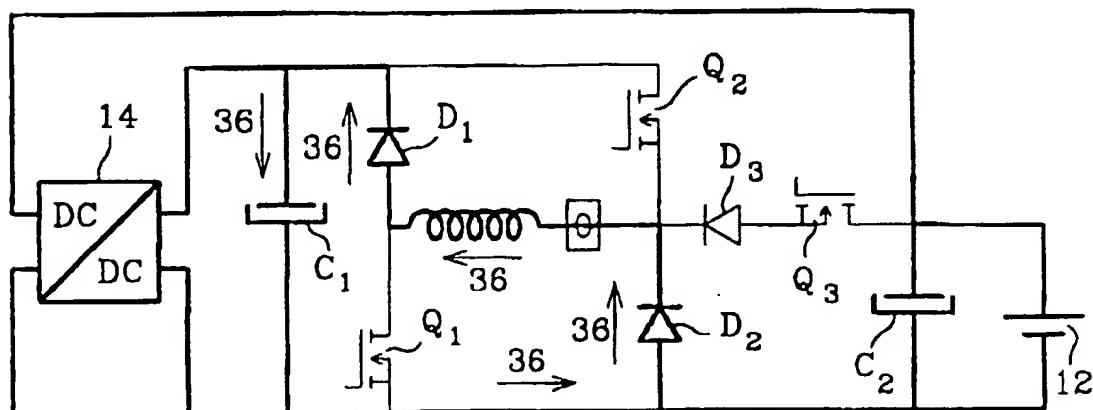
2/6



3/6

FIG.3FIG.4FIG.5

4 / 6

FIG.6FIG.7

5/6

